

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 865 074 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
16.09.1998 Patentblatt 1998/38

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: H01L 21/205, H01L 21/28

(21) Anmeldenummer: 98101176.0

(22) Anmeldetag: 23.01.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 20.02.1997 DE 19706783

(71) Anmelder:  
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
80333 München (DE)

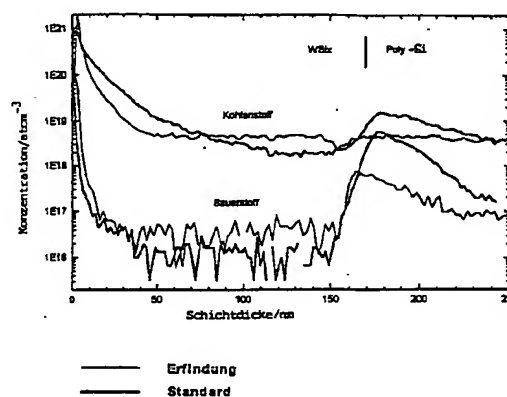
(72) Erfinder:  
• Dreybrodt, Jörg  
01127 Dresden (DE)  
• Drescher, Dirk, Dr.  
01465 Langebrück (DE)  
• Zedlitz, Ralf  
01127 Dresden (DE)  
• Wege, Stephan  
01474 Weissig (DE)

(54) Verfahren zur Herstellung dotierter Polysiliciumschichten und -schichtstrukturen und Verfahren zum Strukturieren von Schichten und Schichtstrukturen, welche Polysiliciumschichten umfassen

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung dotierter Polysiliciumschichten und -schichtstrukturen sowie ein Verfahren zum Strukturieren derartiger Schichten und Schichtstrukturen, welche Polysiliciumschichten umfassen. Das Dotierverfahren zeichnet sich dadurch aus, daß die Dotierverbindung als Prozeßgas bei der chemischen Gasphasenabscheidung des Polysiliciums zugesetzt wird, deren Zufuhr zum Prozeßgas jedoch gegen Ende der Gasphasenabscheidung gestoppt wird, so daß eine Grenzschicht aus undotiertem Silicium abgeschieden wird. Hierdurch wird eine günstige Oberflächenbeschaffenheit und bessere Haftfähigkeit zu einer Nachbarschicht erreicht. Das Strukturierungsverfahren umfaßt einen wenigstens dreistufigen Ätzprozeß, bei welchem in einer ersten Stufe ein fluorhaltiges Gas, in einer zweiten Stufe ein chlorhaltiges Gas und in einer dritten Stufe ein bromhaltiges Gas zum Ätzen verwendet wird.

Die Erfindung betrifft weiterhin Wafer und Halbleiterchips, die unter Verwendung des Dotierverfahrens und/oder des Strukturierungsverfahrens hergestellt wurden.

Fig. 1



BEST AVAILABLE COPY

EP 0 865 074 A2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung dotierter Polysiliciumschichten und -schichtstrukturen sowie ein Verfahren zum Strukturieren derartiger Schichten und Schichtstrukturen, welche Polysiliciumschichten umfassen. Die Erfindung betrifft weiterhin Wafer und Halbleiterchips, die unter Verwendung der vorstehend genannten Verfahren hergestellt sind.

Insbesondere betrifft die Erfindung die Herstellung von Gateelektroden der Transistoren und der Wortleitungen in mikroelektronischen Bauelementen. Die hierfür üblicherweise eingesetzten Verfahren umfassen das aufeinanderfolgende Abscheiden von vier Schichten, nämlich Gateoxid ( $\text{SiO}_2$ ), polykristallinem Silicium (kurz im allgemeinen als Polysilicium bezeichnet), Metall bzw. Metallsilicid und einer Isolationsschicht (z.B.  $\text{SiO}_2$ ).

Um die erforderliche Leitfähigkeit sicherzustellen, wird die Polysiliciumschicht üblicherweise mit Dotieratomen in hohen Konzentrationen versetzt. Hierbei ist eine gleichmäßige Verteilung der Dotieratome über die Polysiliciumschicht sehr wichtig. Anderenfalls ist die Haftung von dotierter Polysiliciumschicht und angrenzender Metall(silicid)-Schicht nicht zufriedenstellend und das hochdotierte Polysilicium mit stark schwankendem Dotierniveau nur äußerst schwer strukturierbar.

Bei einem besonders häufig angewendeten Verfahren geht man im Falle der eingangs beschriebenen Schichtstruktur so vor, daß die Dotierung der Polysiliciumschicht erst nach der Strukturierung der Schichtstruktur durch einen Ätzvorgang erfolgt, indem die Dotieratome aus der benachbarten Metallsilicidschicht durch Temperung in das Polysilicium eingetrieben werden. Eine gleichmäßige Verteilung der Dotieratome ist so praktisch nicht erreichbar. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Dotierverbindung bei der chemischen Gasphasenabscheidung dem Prozeßgas zuzusetzen und die Dotieratome gemeinsam mit dem Silicium abzuscheiden. Hierdurch ist zwar eine gleichmäßigere Verteilung der Dotieratome erreichbar, die Oberflächenbeschaffenheit und Haftung zu benachbarten Schichten ist bei der herkömmlichen Durchführung dieses Verfahrens jedoch nicht optimal.

Die Haftprobleme zwischen den Schichten können teilweise durch zusätzliche Reinigungsschritte vor dem Aufbringen der Nachbarschicht behoben werden. Derartige Reinigungsschritte sind jedoch zeitaufwendig und verteuern die Herstellung der Halbleiterbauelemente. Die Beschaffenheit der Grenzschicht (z.B. Veränderungen durch Oxidation an Luft) spielt zudem für das elektrische Verhalten eine entscheidende Rolle.

Bei der Strukturierung der Schichten bereiten zum einen die unterschiedlichen Materialeigenschaften der einzelnen Schichten sowie zum anderen Konzentrationsschwankungen innerhalb einer Schicht Schwierigkeiten. Wünschenswerte wären gerade geätzte Flanken über alle Schichten bei einer möglichst geringen Schädigung des Gateoxids durch den Ätzprozeß über die gesamte Waferfläche, um eine hinreichende Qualität der mikroelektronischen Bauelemente sicherzustellen. Die bisher bekannten Verfahren erfüllen diese Anforderungen nicht in hinreichendem Maße. Zum einen müssen die Schichtdicken wegen der geringen Selektivität der bekannten Ätzverfahren relativ groß sein, um Unterätzungen der Schichten und eine Beschädigung des Gateoxids zu vermeiden. Sehr flache Schichtstrukturen sind deshalb kaum realisierbar. Auch die Homogenität des Ätzvorgangs über die zu ätzende Fläche und die Struktur der geätzten Flanken sind nicht völlig zufriedenstellend. Für eine präzise Strukturierung einer Schichtstruktur ist neben einer gleichmäßigen Qualität der einzelnen Schichten innerhalb der Struktur ein Strukturierungsverfahren nötig, das über mehrere Stufen verläuft, die auf die Materialeigenschaften der Schichtstruktur gezielt angepaßt sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu schaffen zur Herstellung dotierter Schichten, die hauptsächlich aus polykristallinem Silicium bestehen, welches in einer chemischen Gasphasenabscheidung abgeschieden ist, und von Schichtstrukturen, welche eine derartige dotierte Schicht aus polykristallinem Silicium umfassen, in denen der Dotierstoff homogen über die gesamte abgeschiedene Fläche verteilt und die Oberflächenbeschaffenheit und Haftung gegenüber einer benachbarten Schicht möglichst gut ist. Das Verfahren sollte zudem unter Verwendung herkömmlicher Verfahrensschritte und Vorrichtungen einfach und kostengünstig durchführbar sein.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren anzugeben, durch das Schichtstrukturen, welche wenigstens eine Polysilicium- und insbesondere eine dotierte Polysiliciumschicht und eine Metall- oder Metallsilicidschicht umfassen, mit möglichst hoher Selektivität, großer Homogenität über die zu strukturierende Fläche und unter Ausbildung möglichst gerader geätzter Flanken über alle geätzten Schichten strukturiert werden können. Die Selektivität sollte groß genug sein, um eine Reduzierung der Dicke der Schichten in der Schichtstruktur zu erlauben und so die Herstellung flacher mikroelektronischer Bauelemente zu ermöglichen.

Die Lösung der Aufgabe gelingt einerseits mit dem Verfahren gemäß Anspruch 1, das die Herstellung gleichmäßig dotierter Polysiliciumschichten ermöglicht, die sehr viel besser strukturiert werden können als auf herkömmliche Weise dotiertes Polysilicium, und deren Oberflächenbeschaffenheit und Haftfähigkeit gegenüber einer Nachbarschicht verbessert ist.

Die Aufgabe wird weiterhin gelöst mit dem Verfahren gemäß Anspruch 15, das eine präzise Strukturierung von Schichtstrukturen erlaubt.

Besonders gute Ergebnisse können erzielt werden, wenn beide Verfahren zur Herstellung von Wafers und Halbleiterchips miteinander kombiniert werden. Vorteilhafte und bevorzugte Weiterbildungen der Verfahren ergeben sich aus den

Unteransprüchen.

Die Erfindung betrifft zudem Wafer und Halbleiterchips gemäß Anspruch 31, die unter Verwendung eines oder beider erfindungsgemäßer Verfahren hergestellt sind.

In einem ersten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer dotierten Schicht, die hauptsächlich aus polykristallinem Silicium besteht, welches durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD = Chemical Vapour Deposition) abgeschieden ist. Eine derartige Schicht wird im folgenden zur Vereinfachung auch kurz als dotierte Polysiliciumschicht bezeichnet.

Das erfindungsgemäße Verfahren betrifft ebenfalls die Herstellung von Schichtstrukturen, welche eine derartige dotierte Polysiliciumschicht umfassen.

Erfindungsgemäß erfolgt die Dotierung, indem die Dotierverbindung während der chemischen Gasphasenabscheidung des polykristallinen Siliciums als Prozeßgas zugesetzt wird. Die Dotierung erfolgt also gleichzeitig mit der Abscheidung des polykristallinen Siliciums. Verglichen mit dem Implantationsverfahren entfallen gesonderte Schritte zur Reinigung des polykristallinen Siliciums vor der Implantation der Dotieratome und zur Implantation der Dotierstoffe selbst. Dadurch ist nicht nur eine erhebliche Verkürzung der Herstellungszeit, sondern auch eine Einsparung von Reinraumfläche möglich. Das erfindungsgemäße Verfahren ist somit äußerst kostengünstig. Es erfordert zudem keinerlei zusätzliche Dotierungsvorrichtungen. Durch die "in situ"-Dotierung können darüber hinaus das Defektdichteniveau und die Konzentration von Verunreinigungen stark reduziert werden, was hinsichtlich der weiteren Bearbeitung und auch im Hinblick auf die Zuverlässigkeit des fertigen mikroelektronischen Bauelements äußerst vorteilhaft ist.

Im Unterschied zu den herkömmlichen CVD-Dotierungsverfahren wird das erfindungsgemäße Verfahren so durchgeführt, daß gegen Ende des Verfahrens, d.h. nach Ablauf der gewünschten Abscheidedauer und Erreichen der gewünschten Konzentration an Dotieratomen, die Zufuhr der Dotierverbindung zum Prozeßgas beendet wird. Als Folge hiervon wird auf dem dotierten Polysilicium eine Grenzschicht aus undotiertem Polysilicium abgeschieden. Dies führt dazu, daß eine gegenüber dem dotierten Polysilicium deutlich bessere Oberflächenbeschaffenheit erhalten wird. Dies ist für Strukturierung der Schicht und die Haftfähigkeit gegenüber einer Nachbarschicht von Vorteil.

Die Schicht aus undotiertem Polysilicium verbessert jedoch nicht nur die Haftung der Nachbarschicht, sondern kann auch die Homogenität der Stöchiometrie in der Metallsilicidschicht erhöhen. Von besonderer Bedeutung ist dies im Grenzflächenbereich stark metalldotierter Polysiliciumschichten. Beispielsweise ist im Falle von Wolframsilicidschichten mit starker Wolframanreicherung beobachtet worden, daß es bei nachfolgenden Hochtemperatur-Bearbeitungsschritten zu einem Stöchiometrieausgleich kommt. Siliciumatome wandern aus Nachbarbereichen in die stark mit Wolfram angereicherten Bereiche und lassen so im Nachbarbereich Mikrolöcher entstehen. Die Aufbringung einer "sauberen", d.h. undotierten, Polysiliciumschicht verhindert das Auftreten dieses Phänomens im Grenzflächenbereich und sorgt so für eine gute Stöchiometriehomogenität über die gesamte Schichtdicke der Metallsilicidschicht.

Abscheidung von Haftvermittlerschichten aus undotiertem Polysilicium und die Erzeugung der dotierten Polysiliciumschicht können erfindungsgemäß also in einem Verfahrensdurchgang durch geeignete Einstellung der Konzentration der Dotierverbindung im Prozeßgas erreicht werden.

Ein Beispiel für ein solches Verfahren ist in einem späteren Abschnitt der Anmeldung angegeben, wo auch die Vorteile der Erfindung unter Bezugnahme auf einige Figuren näher erläutert sind.

Als Dotieratome können grundsätzlich alle zur Dotierung polykristallinen Siliciums gebräuchlichen Atome vom p- und n-Typ angesprochen werden, wie Bor, Gallium, Indium, Phosphor, Arsen und Antimon. Da die Dotieratome in Form ihrer Verbindungen als Prozeßgas der chemischen Gasphasenabscheidung des Polysiliciums zugeführt werden, werden zweckmäßig solche Verbindungen eingesetzt, die gasförmig oder leichtflüchtig sind. Beispielsweise können Diboran ( $B_2H_6$ ), Trimethylbor ( $B(CH_3)_3$ ), Phosphan ( $PH_3$ ) oder Arsan ( $AsH_3$ ) genannt werden. Die Dotierverbindungen zersetzen sich unter den Prozeßbedingungen, und die Dotieratome scheiden sich gemeinsam mit dem Silicium ab und werden in die Polysiliciumschicht eingelagert.

Die Dotierverbindung kann dem Gasstrom von Beginn an in einem über die gesamte Gasphasenabscheidung hin konstanten Anteil zugesetzt werden, der dem gewünschten Mengenverhältnis der Dotieratome in der Polysiliciumschicht entsprechend gewählt wird.

Außerdem ist es möglich, das Verhältnis von Dotierverbindung und Si-haltiger Verbindung zueinander konstant zu halten, ihren Anteil im Gas im Verlauf der Abscheidung jedoch kontinuierlich oder stufenweise zu erhöhen.

Um eine gute Dickenhomogenität der abgeschiedenen Schicht über die Waferfläche zu erhalten, kann es vorteilhaft sein, die Dotierung mit einem Konzentrationsgradienten durchzuführen. Zweckmäßig wird die Konzentration der Dotierverbindung, bezogen auf die Gesamtmenge der zugeführten, abzuschheidenden Verbindungen, im Verlauf des Abscheideverfahrens gesteigert.

Vorteilhaft wird zunächst mit der Abscheidung reinen Siliciums begonnen, da dann die Haftung auf dem Untergrund in der Regel besser ist, und anschließend wird die Dotierverbindung zugeführt und deren Konzentration kontinuierlich oder schrittweise erhöht, bis die gewünschte Konzentration an Dotieratomen im Polysilicium erreicht ist.

Andererseits ist es auch möglich, die Dotierverbindung zunächst in der der gewünschten Endkonzentration der Dotieratome im Silicium entsprechenden Menge zuzusetzen und mit zunehmender Dauer der Gasphasenabscheidung

den Anteil der siliciumhaltigen Verbindung im Gasstrom zu erhöhen.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann zur Abscheidung dotierter Polysiliciumschichten auf verschiedensten Substraten eingesetzt werden. Besonders geeignet ist das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von Gateelektroden der Transistoren und Wortleitungen eines Halbleiterbauelements.

5 Hierbei wird die dotierte Polysiliciumschicht beispielsweise auf die oben beschriebene Weise auf der Gateoxidschicht, die üblicherweise aus Siliciumdioxid besteht, abgeschieden. Anschließend kann auf die dotierte Polysiliciumschicht mit der Grenzsicht aus reinem Polysilicium eine Schicht aus Metall oder Metallsilicid aufgebracht werden. Das Metallsilicid wird zweckmäßig ebenfalls durch chemische Gasphasenabscheidung aufgebracht. Dabei kann vor-  
10 teilhaft dieselbe Vorrichtung verwendet werden, die zur Deposition der Polysiliciumschicht benutzt wurde, zweckmäßig jedoch eine andere Depositionskammer als bei der Abscheidung des Polysiliciums. Auf diese Weise ist die Herstellung der Gateelektroden und Wortleitungen besonders einfach und ökonomisch durchführbar. Als Metallsilicid eignen sich alle üblicherweise bei mikroelektronischen Bauelementen eingesetzten Verbindungen und insbesondere die Silicide des Cobalts, Titans, Tantals, Molybdäns und Wolframs.

Auf die Metallsilicidschicht kann anschließend noch eine Isolationsschicht aufgebracht werden. Hier eignen sich  
15 alle üblicherweise in mikroelektronischen Bauteilen verwendeten Isolationsschichten. Besonders geeignet sind solche aus Siliciumdioxid und Siliciumnitrid und hier insbesondere sogenannte TEOS- oder cap-TEOS-Schichten, die durch Gasphasenabscheidung von Tetraethoxysilan erzeugt werden.

Besonders gute Ergebnisse hinsichtlich der Qualität der Schichten innerhalb der Schichtstruktur können erzielt werden, wenn einer oder mehrere der Beschichtungsschritte und insbesondere die Aufbringung der dotierten Polysili-  
20 ciumschicht im Vakuum oder Hochvakuum durchgeführt werden. Vorteilhaft ist es insbesondere, wenn beim Transfer des Wafers von einer Kammer der CVD-Vorrichtung in die nächste das Vakuum bestehen bleibt. Beispielsweise wird also zweckmäßig das Vakuum zwischen der Kammer für die Polysilicium-Abscheidung und derjenigen für die Metallsi-  
lid-Abscheidung nicht unterbrochen.

Wird auf die Schichtstruktur eine Schicht aus Siliciumdioxid oder Siliciumnitrid als Isolationsschicht aufgebracht,  
25 kann diese im erfindungsgemäßen Strukturierungsverfahren als Maske bei der Ätzung der darunterliegenden Schichten dienen.

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Strukturieren einer Schichtstruktur, die wenigstens eine Metall- oder Metallsilicidschicht auf einer Schicht aus polykristallinem Silicium umfaßt.

Wie bereits erwähnt, bereitet die Strukturierung derartiger Schichtstrukturen große Schwierigkeiten. Dies gilt  
30 besonders dann, wenn es sich bei der Polysiliciumschicht um eine dotierte Schicht und insbesondere um eine Schicht mit Dotiergradienten handelt. Es war bisher praktisch nicht möglich, derartige Schichtstrukturen selektiv und unter Ausbildung gerader Ätzflanken zu strukturieren. Das erfindungsgemäße Verfahren schafft hier Abhilfe.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß der Ätzvorgang in wenigstens drei Stufen erfolgt,  
35 von denen die erste Stufe eine fluorhaltiges Ätzgas, die zweiten ein chlorhaltiges und die dritte ein bromhaltiges Gas verwendet.

Im Stand der Technik waren bisher zweistufige Ätzverfahren für die oben genannten Schichtstrukturen üblich.

Durch die geeignete Wahl der Ätzmittel und ihre Abstimmung auf die zu strukturierenden Schichten gelingt ein  
äußerst selektives Ätzen der einzelnen Schichten, bei dem Über- und Unterätzungen weitgehend vermieden werden können.

40 Die Steuerung des Ätzvorgangs kann entweder durch Wahl einer geeigneten festen Ätzdauer oder durch Endpunktbestimmung erfolgen. Zur Endpunktsteuerung einer oder mehrerer der Ätzstufen eignet sich insbesondere ein spektroskopisches Verfahren. Besonders geeignet ist die optische Emissionsspektroskopie (OES), bei welcher die über dessen Emission bestimmte Konzentration eines Ätzmittels oder Ätzproduktes Aufschluß über den Verlauf des Ätzvorgangs gibt. Auf diese Weise kann der Endpunkt der einzelnen Ätzschritte sehr genau bestimmt werden, und es  
45 wird eine genaue Kontrolle der jeweiligen Ätzprozesse gewährleistet.

Darüber hinaus kann mit einem spektroskopischen Verfahren auch die Restschichtdicke der zu ätzenden Schicht festgestellt werden.

In der ersten Stufe, die auch als "Breakthrough" bezeichnet werden kann, wird mit dem fluorhaltigen Ätzgas ein Großteil der Metall- oder Metallsilicidschicht weggeätzt. Es bleibt nur ein Rest der Schicht, beispielsweise ca. 25 % der  
50 ursprünglichen Schichtdicke erhalten. In der anschließenden zweiten Stufe - dem Hauptätzschritt "Mainetch" - wird mit chlorhaltigem Ätzgas die restliche Metall- oder Metallsilicidschicht sowie ein Großteil der darunterliegenden Polysiliciumschicht weggeätzt. Die zweite Stufe wird bevorzugt so durchgeführt, daß ein geringer Rest der Polysiliciumschicht erhalten bleibt, beispielsweise mit einer Schichtdicke von ca. 50 nm. Die Bestimmung der Restschichtdicke des Polysiliciums erfolgt bevorzugt durch OES. Der Rest Polysilicium wird in der dritten Stufe, dem sogenannten "Overetch",  
55 selektiv weggeätzt. Hierzu wird bromhaltiges Ätzgas verwendet. Die Verwendung des bromhaltigen Ätzgases gewährleistet eine hohe Selektivität in diesem Verfahrensschritt und verhindert weitgehend, daß die unter der Polysiliciumschicht liegenden Schichten angegriffen werden. Darüber hinaus hat die bromhaltige Chemie im Overetch den Vorteil, daß das Metallsilicid nicht unterätzt werden kann. Damit sind quasi beliebig lange Überätzzeiten möglich. Dies ist von

großer Wichtigkeit bei Verkleinerung der Transistordimensionen und größerer Topografie des Untergrundes. Besonders geeignet ist dieses Verfahren, wenn sich unter der Polysiliciumschicht eine Gateoxidschicht aus Siliciumdioxid befindet. Das erfindungsgemäße Verfahren kann also von Vorteil auf Schichtstrukturen angewendet werden, die Schichten in der Reihenfolge Gateoxid, Polysilicium, Metall- oder Metallsilicid und Isolationsschicht umfassen.

5 Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich für Schichtstrukturen mit einer Polysiliciumschicht, die dotiert oder undotiert sein kann. Besonders gute Ergebnisse werden erzielt, wenn im Fall einer dotierten Polysiliciumschicht die Dotierung gemäß dem eingangs beschriebenen Dotierverfahren erfolgte. Die nach dem vorstehend erläuterten Verfahren hergestellten Schichtstrukturen eignen sich besonders gut zur Strukturierung nach dem erfindungsgemäßen Strukturierungsverfahren. Wegen der großen Selektivität des erfindungsgemäßen Strukturierungsverfahrens und der  
10 ausgezeichneten Homogenität über die gesamte Fläche der zu strukturierenden Schichten ist es möglich, die Dicke der einzelnen Schichten in der Schichtstruktur zu reduzieren, ohne daß es zu Überätzungen der jeweiligen Schichten kommt. Besonders gut gelingt dies durch Endpunktsteuerung des Ätzvorgangs mittels spektroskopischer Verfahren und insbesondere mittels OES. Das Vermeiden von Überätzungen betrifft nicht nur die zu strukturierenden Schichten, sondern auch die darunterliegenden Schichten, also beispielsweise die Gateoxidschicht. Dies bedeutet, daß die  
15 Gesamtdicke der Schichtstruktur deutlich verringert werden kann. Einerseits gestattet dies die Herstellung flacherer mikroelektronischer Bauelemente und andererseits ist es möglich, über der geätzten Schichtstruktur weitere Schichten wie Metallisierungsebenen oder ähnliches anzuordnen, ohne die zulässige Gesamtbauhöhe eines mikroelektronischen Bauelements zu überschreiten.

Die Strukturierung der Schichtstruktur, welche wenigstens einer Metall- oder Metallsilicidschicht auf einer Polysilicium-Schicht umfaßt, kann grundsätzlich unter Verwendung der üblicher Weise beim Strukturieren eingesetzten Masken erfolgen. Beispielsweise können die üblichen Lackmasken aus Fotoresist oder ähnlichem verwendet werden. Bevorzugt erfolgt die Strukturierung jedoch unter Einsatz einer Hartmaske, die auf die Metall- oder Metallsilicidschicht aufgebracht wird. Besonders bevorzugt wird als Hartmaske eine Maske aus Siliciumdioxid oder Siliciumnitrid verwendet. Bei der Siliciumdioxidschicht kann es sich um sogenanntes (Cap)-TEOS handeln, also Siliciumdioxid, das durch  
25 ein CVD-Verfahren aus Tetraethoxysilan erzeugt wurde. Vorzugsweise wird diese Maske aus der Isolationsschicht hergestellt, die als oberste Schicht der Schichtstruktur auf der Metall- oder Metallsilicidschicht aufgebracht wurde. Durch die Verwendung einer solchen Hartmaske, die relativ dünn sein kann, läßt sich die Gesamthöhe der Schichtstruktur weiter verringern.

Die Strukturierung der Isolationsschicht erfolgt auf übliche Weise. Beispielsweise wird zunächst eine strukturierte  
30 Lackmaske auf die Isolationsschicht aufgetragen. Dann erfolgt das Öffnen der Schicht mit einem geeigneten Ätzmittel. Im Falle von Schichten aus Siliciumdioxid oder Siliciumnitrid kann das z.B. durch Plasmaätzen mit Argon, Trifluormethan und Sauerstoff erfolgen. Zweckmäßig erfolgt die Strukturierung der Hartmaske in einer anderen Kammer der Ätzvorrichtung als das nachfolgende drei- oder mehrstufige Ätzverfahren.

Die wenigstens drei Stufen des Ätzverfahrens für die unter der Hartmaske liegenden Schichten werden vorzugsweise in ein und derselben Kammer der Ätzvorrichtung durchgeführt. Als Ätzvorrichtung eignen sich alle üblicherweise zu diesem Zweck verwendeten Vorrichtungen.

Das im ersten Ätzschritt eingesetzte Ätzgas umfaßt wenigstens eine fluorhaltige Verbindung. Bevorzugte fluorhaltige Ätzgase umfassen  $\text{NF}_3$ ,  $\text{SF}_6$ ,  $\text{SiF}_4$  oder deren Mischungen. Auch fluorierte Kohlenwasserstoffe wie  $\text{CF}_4$ ,  $\text{CHF}_3$  und ähnliche können allein oder im Gemisch mit einem oder mehreren der vorstehend genannten Fluoride verwendet werden.  
40 Eine bevorzugt eingesetzte Ätzgasmischung besteht aus  $\text{NF}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ , He und  $\text{O}_2$ .

In der zweiten Ätzstufe wird ein chlorhaltiges Ätzgas eingesetzt, das beispielsweise eine oder mehrere der Verbindung  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$  und  $\text{BCl}_3$  umfassen kann. Ein bevorzugtes Ätzgas ist aus  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ , He und  $\text{O}_2$  zusammengesetzt.

Als Ätzgas der dritten Stufe wird ein bromhaltiges Gas verwendet. Als Bromverbindung dient z.B. Bromwasserstoff. Geeignet ist ein Ätzgas, das aus  $\text{HBr}$ , He und  $\text{O}_2$  besteht.

45 Durch das erfindungsgemäße Strukturierungsverfahren kann die Polysiliciumschicht in den Bereichen, die nicht von der Maske geschützt sind, praktisch rückstandsfrei entfernt werden, ohne daß es zur Beschädigung der darunterliegenden Schichten, also beispielsweise der Gateoxidschicht, kommt. Eventuell noch vorhandene Spuren von Verunreinigungen oder Ätzrückständen können gegebenenfalls durch einen an die Ätzstufen anschließenden naßchemischen Reinigungsschritt entfernt werden. Geeignet ist hierfür beispielsweise eine verdünnte wäßrige Lösung  
50 von Fluorwasserstoff, z.B. im Verhältnis  $\text{HF}$  zu  $\text{H}_2\text{O}$  = 1:100 bis 200.

Mit dem erfindungsgemäßen Strukturierungsverfahren wird eine gegenüber dem bekannten Verfahren verbesserte Homogenität und Selektivität beim Ätzen der einzelnen Schichten in der Schichtstruktur erreicht. Das Ätzen der Schichtstruktur erfolgt praktisch frei von Rückständen und ohne Beschädigung benachbarter Schichten. Die ausgezeichnete Selektivität erlaubt es, die Schichten der Schichtstruktur dünner als bisher möglich auszugestalten und damit  
55 die Bauhöhe mikroelektronischer Bauteile zu vermindern. Das Ätzverfahren benötigt zudem einen gegenüber den Verfahren des Standes der Technik verringerten Gesamtätzzeitraum.

Außerdem werden gerade geätzte Flanken erhalten. Besonders vorteilhaft kann dies erreicht werden, wenn der zu strukturierende Wafer nicht mechanisch sondern elektrostatisch in der Ätzvorrichtung gehalten wird. Üblicherweise

wird ein Wafer in der Ätzkammer befestigt, indem er mechanisch eingespannt und auf eine Dichtung gedrückt wird, die in einem bestimmten Abstand zur Kathode der Ätzkammer angeordnet ist. Zwischen Wafer und Kathode wird der Wärmekontakt mit einem Gas, beispielsweise Helium, unter Druck (z.B. 8 Torr) hergestellt. Auf diese Weise ist der Wafer jedoch nur am Rand fixiert und kann sich im Innenbereich durchbiegen, so daß zwischen Waferrand und Kathode und zwischen Waferinnerem und Kathode unterschiedliche Abstände vorliegen. Dies führt zu ungleichmäßigen Ätzresultaten, da der Wärmetransport neben dem Heliumdruck vom Abstand Wafer - Kathode abhängt. Erfindungsgemäß wird der Wafer daher elektrostatisch durch Einstellung einer bestimmten Spannung, die in der Regel zwischen 1000 und 1500 V liegt, festgehalten. Durch in der Kathode ausgebildete Kanäle wird ein Gas, im allgemeinen Helium, hindurchgeleitet, so daß zwischen Kathode und Wafer eine Art Gaskissen entsteht. Diese Art der elektrostatischen Halterung des Wafers wird nachfolgend als Electrostatic Chuck bezeichnet. Der Electrostatic Chuck bewirkt, daß über die gesamte Waferfläche gerade Flanken geätzt werden. Wichtig dabei ist, daß über den gesamten Wafer eine gleichmäßige Temperaturverteilung hergestellt wird. Darüber hinaus gibt es keine störenden Einflüsse der früher gebräuchlichen Clamp-Vorrichtung auf das Plasma in unmittelbarer Nähe des Waferrandes. Außerdem ist somit eine Reduktion der Partikeldichte zu erzielen.

Das erfindungsgemäße Strukturierungsverfahren und seine Vorteile werden anhand des nachfolgenden Ausführungsbeispiels und einiger Zeichnungen weiter beschrieben. Darin zeigen:

Fig. 1 ein Konzentrationsprofil, das die Verteilung von Sauerstoff und Kohlenstoff in Schichtstrukturen zeigt, die unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und eines herkömmlichen Verfahrens hergestellt wurden;

Fig. 2 Transmissions-Elektronenmikroskop-Aufnahmen einer Schichtstruktur mit und ohne Polysiliciumhaftschiicht;

Fig. 3 Abbildungen von strukturierten Wortleitungen, die unter Verwendung des erfindungsgemäßen Strukturierungsverfahrens hergestellt wurden, im Bereich der Wafermitte und des Waferrandes im Vergleich zu entsprechenden Wortleitungen, die unter Verwendung eines herkömmlichen Ätzverfahrens hergestellt wurden;

Fig. 4 eine Abbildung strukturierten Wortleitungen, die unter Verwendung des erfindungsgemäßen Strukturierungsverfahrens hergestellt wurden;

Fig. 5 verdeutlicht im Vergleich die Dicke des Gateoxids nach dem Ätzen gemäß dem erfindungsgemäßen Strukturierungsverfahren und einem herkömmlichen Verfahren sowie die zugehörigen Standardabweichungen, und

Fig. 6 und 7 verdeutlichen die Endpunktbestimmung im erfindungsgemäßen Ätzverfahren mittels optischer Emissionsspektroskopie.

#### Beispiel 1

##### a) Herstellung einer P-dotierten polykristallinen Siliciumschicht

Auf einer Gateoxidschicht ( $\text{SiO}_2$ ) eines Wafers wird durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD) eine Schicht aus mit Phosphor dotiertem polykristallinem Polysilicium (Poly-Si) abgeschieden. Als Ausgangsverbindung für das polykristalline Silicium dient Silan ( $\text{SiH}_4$ ). Für die Dotierung wird dem Prozeßgas Phosphan ( $\text{PH}_3$ ) zugesetzt. Um eine gute Homogenität der Dotierung über den gesamten Wafer zu erreichen, erfolgt die Zugabe nach einem Konzentrationsgradienten, beginnend mit 10 %  $\text{PH}_3$ , bezogen auf die Endkonzentration des Phosphans, und auf 100 % ansteigend, alternierend in Schrittlängen von 2 und 3 Sekunden. Anschließend wird die Abscheidung fortgesetzt, bis die gewünschte Schichtdicke erreicht ist. Nach Erreichen der gewünschten Schichtdicke wird der Zusatz von Phosphan im Prozeßgas gestoppt, so daß sich auf dem dotierten Polysilicium eine Schicht undotierten Polysiliciums abscheidet, die die Haftung der nachfolgend aufgetragenen Wolframsilicidschicht verbessert.

Die gesamte Schichtdicke von dotiertem und undotiertem Polysilicium beträgt etwa 200 nm. Die Prozeßparameter sind in Tabelle 1 angegeben. "Abscheidungszeit dotiert" entspricht der Abscheidungszeit für die dotierte Polysiliciumschicht, "Abscheidungszeit undotiert" derjenigen für die Abscheidung undotierten Polysiliciums auf der dotierten Schicht.

## b) Herstellung einer Wolframsilicidschicht auf der Polysiliciumschicht

Der gemäß Beispiel 1a) beschichtete Wafer wird in eine andere Kammer derselben CVD-Vorrichtung überführt, ohne daß das Vakuum in der CVD-Vorrichtung aufgehoben wird. Vor Beginn einer Beschichtungsreihe wird diese Kammer in einem sogenannten Precoat-Verfahren ohne Wafer konditioniert, indem neben den Prozeßgasen Wolframhexafluorid und Dichlorsilan auch Silan zugeführt wird. Das Silan führt hierbei vermutlich zur Bildung katalytischer Spezies, die die Reaktion von  $WF_6$  und  $SiH_2Cl_2$  fördern. Die Zufuhr des ersten Wafers in die konditionierte Kammer sollte nicht später als 10 Minuten nach der Konditionierung erfolgen.

Die Bedingungen für die Abscheidung der Wolframsilicidschicht sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Dicke der abgeschiedenen Wolframsilicidschicht beträgt etwa 170 nm.

Tabelle 1

Arbeitsschritt	Parameter	Wert	Einheit
Target	Dicke Poly-Si	200 +/- 20	nm
Target	Schichtwiderstand	100 +/- 40	Ohm/Sq
Target	Schichtbeanspruchung	< 300	MPa
Poly-Si-Abscheidung	Druck	80	Torr
	Temperatur	660	°C
	Abscheidungszeit dotiert	22 + 85	Sec
	Abscheidungszeit undotiert	18	Sec
	H <sub>2</sub> -Fluß, Haupt-	4,9	slm
	H <sub>2</sub> -Fluß, Schlitzventil	4,6	slm
	SiH <sub>4</sub> -Fluß	0,5	slm
	PH <sub>3</sub> -Fluß	45	sccm
Target	Dicke WSi <sub>x</sub>	170 +/- 25	nm
Target	Schichtwiderstand	45 +/- 6,5	Ohm/Sq
Target	Schichtbeanspruchung	< 1300	MPa
WSi <sub>x</sub> -Abscheidung	Druck	1	Torr
	Temperatur	550	°C
	Nukleationszeit	20	Sec
	Abscheidungszeit	90	Sec
	Zeit SiH <sub>4</sub>	10	Sec
	WF <sub>6</sub> -Fluß	3,5	sccm
	Ar-Fluß, Kopf	0,85	slm
	Ar-Fluß, Boden	700	sccm

Nach Durchführung der Verfahrensschritte a) und b) wird ein Wafer erhalten, auf dessen Gateoxidschicht zunächst eine Schicht aus P-dotiertem Polysilicium mit einer Grenzsicht aus undotiertem Polysilicium und anschließend eine Schicht aus Wolframsilicid abgeschieden sind.

Beide Beschichtungsschritte können unmittelbar aufeinanderfolgend in einer CVD-Anlage durchgeführt werden, wodurch die Herstellung sehr einfach, schnell und kostengünstig möglich ist. Das erfindungsgemäße Verfahren führt zudem zu Schichten von hervorragender Homogenität mit einem äußerst geringen Anteil an Verunreinigungen.

Dies ist Fig. 1 zu entnehmen. Hier sind SIMS-Spektren (SIMS = Secondary Ion Mass Spectroscopy; Sekundärionen-Massenspektroskopie) gezeigt, die die Konzentrationsprofile von Kohlenstoff und Sauerstoff im Grenzbereich zwischen Polysilicium- und Wolframsilicidschicht wiedergeben. Die Konzentration ist auf der y-Achse aufgetragen, während die x-Achse der Schichtdicke entspricht. Eine Dicke von 0 nm entspricht der äußeren Oberfläche der Wolfram-

silicidschicht. Mit steigender Schichtdicke und höherer Eindringtiefe in die Schichtstruktur nähert man sich der Polysiliciumschicht. Die Grenzfläche zwischen beiden Schichten liegt im Bereich von 170 nm.

Die dünnen Linien geben die Situation in einem Wafer wieder, der gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren beschichtet wurde, während die dicken Linien der Situation in einem nach einem herkömmlichen Verfahren beschichteten und dotierten Wafers entsprechen.

Fig. 1 zeigt, daß sowohl die Sauerstoff- als auch die Kohlenstoffkonzentration, die im Grenzbereich zwischen Polysilicium- und Wolframsilicidschicht gefunden werden, im Falle der herkömmlich hergestellten Wafer um ca. eine Zehnerpotenz größer sind als bei den erfindungsgemäß beschichteten Wafers. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht also eine drastische Reduzierung von Verunreinigungen im Grenzbereich zwischen Polysilicium und Wolframsilicid.

Fig. 2 verdeutlicht die Vorteile, die dadurch erhalten werden können, daß bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zwischen dotierter Polysiliciumschicht und Metallsilicidschicht eine Grenzsicht aus undotiertem Polysilicium abgeschieden wird. Die Transmissions-Elektronenmikroskop-Aufnahmen zeigen eine durch CVD erzeugte Schichtstruktur aus Polysilicium und Metallsilicid. Die Metallsilicid-Nukleationsschicht ( $WSi_2$ ) ist die dunkle Schicht. In Fig. 2a ist auf das dotierte Polysilicium eine ca. 30 nm dicke Schicht aus undotiertem Polysilicium abgeschieden worden. Die Nukleation ist hier sehr homogen erfolgt. Dagegen zeigt Fig. 2b, bei der eine Kappe aus undotiertem Polysilicium fehlt, Mikrolöcher im Bereich zwischen Polysilicium und Wolframsilicid. Die Nukleation des Wolframsilicids auf dem dotiertem Polysilicium ist hier behindert.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich auf einfache, effektive und kostengünstige Weise Schichtstrukturen herstellen, deren Schichten eine ausgezeichnete Homogenität aufweisen und deren Gehalt an Verunreinigungen äußerst gering ist. Zudem ist es möglich, dotierte Polysiliciumschichten herzustellen, mit einer gleichmäßigen Verteilung der Dotieratome über die gesamte abgeschiedene Fläche. Die Haftung zusätzlicher Schichten auf der dotierten Polysiliciumschicht ist gut, da eine undotierte Polysilicium-Grenzsicht aufgebracht ist. Gesonderte Reinigungs- und Implantierungsschritte sind nicht erforderlich. Die gleichmäßige Verteilung der Dotieratome und die große Homogenität der Schichten in der erfindungsgemäß hergestellten Schichtstruktur ermöglichen zudem eine exakte Strukturierung dieser Schichten. Besonders vorteilhafte Ergebnisse lassen sich erzielen, wenn die Strukturierung der Schichtstrukturen durch das nachfolgend erläuterte erfindungsgemäße Strukturierungsverfahren erfolgt.

#### Beispiel 2

##### Strukturierung einer Schichtstruktur, welche eine Wolframsilicidschicht und eine dotierte Polysiliciumschicht umfaßt

Die gemäß Beispiel 1 hergestellte Schichtstruktur, bei welcher eine P-dotierte Polysiliciumschicht und eine Wolframsilicidschicht auf eine Gateoxidschicht abgeschieden wurden, wird nach Aufbringen einer Hartmaske durch Plasmaätzen strukturiert.

Die Hartmaske besteht aus einer Siliciumdioxidschicht, die auf übliche Weise durch Abscheiden von Tetraethoxysilan erzeugt und nach Aufbringen einer Lackmaske mit Argon, Trifluormethan und Sauerstoff strukturiert wurde. Die Maske besitzt die Struktur verschachtelter Linien mit einer Breite von  $0,46 \pm 0,07 \mu m$ .

Die Dicke der Wolframsilicidschicht beträgt 170 nm, die der Polysiliciumschicht 200 nm. Das Ätzverfahren für die Wolframsilicid- und Polysiliciumschichten erfolgt in einer anderen Kammer derselben Plasmaätzvorrichtung, die zur Strukturierung der Hartmaske verwendet wurde.

In der ersten Ätzstufe (Breakthrough) wird ein Ätzgas aus  $NF_3$ ,  $HCl$ ,  $Cl_2$  und  $He/O_2$  verwendet. Einzelheiten des Ätzverfahrens sind der nachfolgenden Tabelle 2 zu entnehmen.

Die erste Stufe wird so lange durchgeführt, bis ca. 75 % der Wolframsilicidschicht entfernt sind. In der zweiten Stufe (Mainetch) wird der Rest der Wolframsilicidschicht und die Polysiliciumschicht bis auf einen Rest von ca. 50 nm Dicke entfernt. Der Endpunkt des Ätzschrittes wird zweckmäßig mittels OES bestimmt (vergleiche Beispiel 3a). Als Ätzgas dient  $HCl$ ,  $Cl_2$  und  $He/O_2$ . Anschließend wird der Rest der Polysiliciumschicht mit  $HBr$ ,  $He/O_2$  weggeätzt. Dieser als Overetch bezeichnete Schritt ist sehr selektiv und erfolgt praktisch ohne Schädigung des unter der Polysiliciumschicht liegenden Gateoxids.

Die Ätzkammer wird vor dem Einführen des nächsten zu strukturierenden Wafers mit einem Silicium-Dummy gereinigt. Der strukturierte Wafer wird im Anschluß an das Ätzverfahren durch Eintauchen in eine verdünnte wäßrige  $HF$ -Lösung für 60 Sekunden gereinigt.

Tabelle 2

Arbeitsschritt	Parameter	Wert	Einheit
Breakthrough (Durchbruch)	Druck	20	Torr



Tabelle 2 (fortgesetzt)

Arbeitsschritt	Parameter	Wert	Einheit
	Leistung	500	Watt
	HCl-Fluß	15	sccm
	Cl <sub>2</sub> -Fluß	90	sccm
	NF <sub>3</sub> -Fluß	15	sccm
	He/O <sub>2</sub> -Fluß	15	sccm
	He; Rück- seite	9,5	Torr
	Zeit	20	Sec
	B-Feld	20	Gauss
Mainetch (Hauptätzen)	Druck	20	mTorr
	Leistung	500	Watt
	HCl-Fluß	18	sccm
	Cl <sub>2</sub> -Fluß	110	sccm
	He/O <sub>2</sub> -Fluß	10	sccm
	He; Rück- seite	9,5	Torr
	Zeit	35	Sec
	B-Feld	20	Gauss
Overetch (Überätzen)	Druck	50	mTorr
	Leistung	175	Watt
	HBr-Fluß	80	sccm
	He/O <sub>2</sub> -Fluß	8	sccm
	He; Rück- seite	9,5	Torr
	Zeit	140	Sec

Die vorteilhaften Ergebnisse des erfindungsgemäßen Strukturierungsverfahrens sind anhand der nachfolgenden Figuren erläutert.

Fig. 3 gibt einen Vergleich von Wortleitungen, die gemäß dem Strukturierungsverfahren der Erfindung einerseits und einem zweistufigen Standardätzverfahren andererseits strukturiert wurden. Fig. 3a und 3b zeigen Wortleitungen im Bereich der Wafermitte, Fig. 3c und 3d solche am extremen Wafertrand. Die nach dem Standardätzverfahren hergestellten Wortleitungen sind in Fig. 3a und 3c gezeigt.

Die so hergestellten Wortleitungen fallen durch ein Unterätzen (Undercut) im Wolframsilicid sowie asymmetrische Flanken auf. Letzteres Merkmal ist besonders in Fig. 3c zu bemerken, was unter anderem davon herrührt, daß die Halterung des Wafers während des Ätzens mit einem Klammerring erfolgte. Derartige asymmetrische Flanken können im Extremfall zu Kurzschlüssen zwischen Gate Conductor (GC) und Deep Trench (DT) führen.

Derartige GC/DT-Kurzschlüsse treten bei den mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens geätzten Wortleitungen nicht auf. Undercuts werden nicht beobachtet, und es werden symmetrische Flanken erhalten, wie Fig. 3b und 3d zu entnehmen ist. Tabelle 3 verdeutlicht die Ergebnisse anhand der GC/DT-Werte für einige ausgewählte Halbleiterwafer. Die ersten fünf Werte beziehen sich auf das erfindungsgemäße Strukturierungsverfahren, die restlichen auf das Standardverfahren. Die Meßwerte zeigen eindeutig, daß sogenannte harte Fehler durch Kurzschlüsse zwischen Gate Conductor (GC) und Deep Trench (DT) beim erfindungsgemäßen Verfahren nicht auftreten (1 = 100 % fehlerfrei), während die Fehlerquote beim Standardverfahren bei durchschnittlich 97 % liegt. Der Grund für die verbesserten Ergebnisse durch das erfindungsgemäße Strukturierungsverfahren liegen in der Herstellung gerade geätzter Flanken und einer verbesserten Überätzung, bei der das Polysilicium mit hoher Selektivität und Homogenität über die gesamte Waferflä-

che in den gewünschten Bereichen vollständig entfernt wird. Besonders gute Ergebnisse lassen sich erzielen, wenn der Wafer während des Ätzvorgangs elektrostatisch gehalten wird.

Tabelle 3

Wafer / Gruppe / Los		GC/DT
	Erfindung/Standard	
2	Erfindung	1
6	---	1
10	---	1
16	---	1
20	---	1
1	Standard	0,963
5	---	0,981
11	---	0,963
15	---	0,945
21	---	0,981
23	---	0,972
25	---	0,963

Fig. 4 verdeutlicht, daß das erfindungsgemäße Strukturierungsverfahren selbst dann angewendet werden kann, wenn die Schichtdicke der jeweiligen Schichten in der Schichtstruktur verringert ist. Gegenüber den im Standardverfahren üblichen Schichtdicken von 200 nm für das Polysilicium und 170 nm für Wolframsilicid sind in der gezeigten Schichtstruktur die Schichtdicken auf 120 nm für das Wolframsilicid und 150 nm für das Polysilicium reduziert. Insgesamt kann damit die Schichtdicke der Schichtstruktur um 100 nm gegenüber den üblicherweise verwendeten Schichtstrukturen verringert werden, ohne daß damit Qualitätseinbußen verbunden wären. Beim Auffüllen der Schichtstruktur mit weiteren Schichten oder Metallisierungsebenen steht daher ein erheblich größerer Spielraum als bisher zur Verfügung.

Fig. 5a zeigt die Dicke der Gateoxidschicht (Gox), welche unter der Polysiliciumschicht in der zu strukturierenden Schichtstruktur angeordnet ist, nach dem Ätzen gemäß dem zweistufigen Standardverfahren und dem erfindungsgemäßen Strukturierungsverfahren. Fig. 5b gibt die den Ergebnissen von Fig. 5a zugehörigen Standardabweichungen an.

Fig. 5a belegt, daß das Gateoxid durch das erfindungsgemäße Strukturierungsverfahren weit weniger angegriffen wird als durch das Standardverfahren. Die Dicke des Gateoxids ist nach dem erfindungsgemäßen Strukturierungsverfahren etwa 1 nm größer als bei herkömmlicher Strukturierung. Dies bedeutet, daß das nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erhaltene Produkt deutlich weniger anfällig gegen Leckströme ist, die bei zu dünner Gateoxidschicht entstehen können. Die elektrischen Eigenschaften des Chips können insgesamt verbessert werden. Als Folge der sehr selektiven Ätzung durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es daher möglich, die Dicke der Gateoxidschicht zu verringern und so die Gesamthöhe der zu strukturierenden Schichtstruktur weiter zu vermindern.

### Beispiel 3

#### Endpunktbestimmung mittels optischer Emissionsspektroskopie

Die Endpunktbestimmung für das in Beispiel 2 beschriebene Ätzverfahren soll nachfolgend am Beispiel der Mainetch- und Overetch-Schritte näher erläutert werden.

Grundsätzlich beruht die optische Emissionsspektroskopie (OES) darauf, daß die Emission einer Ätzverbindung oder eines der Ätzprodukte über den Verlauf des Ätzschrittes beobachtet wird. Die Emission der ausgewählten Verbindung ist proportional ihrer Konzentration, welche wiederum Aufschluß über den Fortschritt des Ätzevorgangs bietet.

Die Vorrichtung zur Bestimmung der optischen Emission kann grundsätzlich den üblicherweise zu diesem Zweck verwendeten Vorrichtungen entsprechen. Vorzugsweise wird das emittierte Licht aus der Ätzkammer über ein Fenster in der Kammer mit Hilfe einer Lichtleitfaser auf einen Monochromator geleitet. Dann wird das emittierte Licht bei einer

für den zu detektierenden Stoff charakteristischen Wellenlänge mit einem geeigneten Spektrometer gemessen. Das im Verlauf des Ätzborgangs emittierte Spektrum wird mit einem für den jeweiligen Ätzborgang vorgegebenen Algorithmus verglichen. Bei Erreichen des vorgegebenen Endpunkts wird der Ätzborgang beendet. Fig. 6 und 7 zeigen beispielhaft zwei Endpunktalgorithmen für den Mainetch- bzw. den Overetch-Schritt.

#### a) Endpunktbestimmung für den Mainetch-Schritt

Im Mainetch-Schritt wird, wie vorstehend beschrieben, ein Großteil der Polysiliciumschicht geätzt. In der in Beispiel 2 beschriebenen Schichtstruktur handelt es sich bei der Polysiliciumschicht um eine Wolfram-dotierte Schicht. Als Ätzmittel dient ein chlorhaltiges Ätzgas.

Bei diesem Ätzborgang ist es entscheidend, daß ein Rest der Polysiliciumschicht nicht geätzt wird. Würde keine Restschicht erhalten bleiben, die in einem anschließenden Ätzborgang mit bromhaltigem Ätzgas weggeätzt wird, wäre nicht zu verhindern, daß das Gateoxid angegriffen wird.

Würde zur Endpunktbestimmung im Mainetch-Schritt wie üblich die Interferenzmessung eingesetzt, könnte nur das vollständige Wegätzen der Polysiliciumschicht festgestellt werden. Die erfindungsgemäß verwendete OES ermöglicht es dagegen, den Endpunkt so zu bestimmen, daß ein Rest der Polysiliciumschicht erhalten bleibt. OES-Spektren für das Mainetch-Verfahren weisen nämlich grundsätzlich einen gekrümmten Verlauf auf, mit einer Abflachung bei geringer Restschichtdicke. Der Endpunkt wird erfindungsgemäß so festgelegt, daß er in den Bereich dieser Kurvenabflachung fällt.

Im konkreten Fall wurde die optische Emission des Dotierstoffes Wolfram bei 4705 nm bestimmt. Das in das Polysilicium implantierte Wolfram wird im Hauptätzschritt gemeinsam mit dem Polysilicium geätzt und gelangt so in die Gasphase in der Ätzkammer. Im Verlauf des Hauptätzschrittes nimmt die Konzentration des Wolframs stetig ab, und entsprechend wird die für das Wolfram gemessene Emission geringer. Der Endpunktalgorithmus, der in Fig. 6 wiedergegeben ist, wurde entsprechend diesem Verlauf definiert. Dabei ist auf der y-Achse eine der Lichtintensität proportionale Meßgröße und auf der x-Achse die Zeit in Sekunden aufgetragen.

Im einzelnen wurden zu Beginn der Kurve acht Fenster mit einer 1 virtuellen Einheit entsprechenden Höhe und einer Breite von 2 Sekunden definiert. Der Endpunkt des Ätzborgangs wurde durch fünf Fenster von 0,65 virtuellen Einheiten Höhe und 0,7 Sekunden Breite definiert, die so festgelegt wurden, daß das Polysilicium mit einer Restschichtdicke von 50 nm erhalten bleibt. Andere Restschichtdicken können durch geeignete Festlegung der Fenster leicht eingestellt werden.

Während des Ätzborgangs wird der tatsächliche Verlauf des gemessenen Emissionsspektrums mit dem Algorithmus verglichen, und der Ätzborgang wird abgebrochen, wenn das letzte der fünf beschriebenen Fenster im abgeflachten Kurvenstück durchlaufen ist. Auf diese Weise ist ein definierter Stopp des Mainetch-Schrittes bei einer vorher festgelegten Restschichtdicke möglich.

#### b) Endpunktbestimmung für den Overetch-Schritt

Wie in Beispiel 2 beschrieben, wird die Restschicht des im Mainetch-Schritt nicht weggeätzten Polysiliciums erfindungsgemäß mit einem bromhaltigen Ätzgas entfernt.

Die Endpunktbestimmung mittels OES erfolgt grundsätzlich wie vorher beschrieben. Als Meßgröße dient hier die durch das Ätzmittel Bromwasserstoff hervorgerufene Emission. Auch hier liegt die zu messende Wellenlänge (zufällig) bei 4705 nm. Da im Overetch-Schritt kein Wolfram mehr vorhanden ist, tritt hierdurch aber keine Verfälschung der Ergebnisse auf.

Der Kurvenverlauf im Overetch-Schritt ist anders als im Mainetch-Schritt. Solange noch Polysilicium-Restschicht vorhanden ist, wird Bromwasserstoff beim Ätzen verbraucht. Seine Konzentration im Gas ist daher vergleichsweise gering. Mit zunehmender Dauer des Ätzborgangs nimmt der Verbrauch an HBr jedoch ab, die Konzentration des Bromwasserstoffes in der Gasphase und seine Emission also zu. Ist das Polysilicium vollständig weggeätzt, bleibt die Konzentration des Bromwasserstoffes auf hohem Niveau konstant. Der Endpunkt des Overetch-Schrittes wird erfindungsgemäß in diesen abgeflachten Kurvenbereich gelegt.

Fig. 7 zeigt einen entsprechenden Endpunktalgorithmus. Die Einheiten von x- und y-Achse entsprechen denjenigen aus Fig. 6. Der Kurvenverlauf ist im gezeigten Fall durch fünf Fenster im ansteigenden Bereich der Kurve und vier plus ein Fenster im abgeflachten Endbereich definiert. Lage und Größe der Fenster können auf an sich bekannte Weise anhand einiger Testdurchläufe festgelegt werden. Auf die gezeigte Weise kann der Overetch-Schritt auf dem Gateoxid gestoppt und so eine Beschädigung des Gateoxids durch das Ätzmittel vermieden werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer dotierten Schicht, die hauptsächlich aus polykristallinem Silicium besteht, welches

durch chemische Gasphasenabscheidung abgeschieden ist, und von Schichtstrukturen, welche eine derartige dotierte Polysiliciumschicht umfassen, worin die Dotierung während der chemischen Gasphasenabscheidung des polykristallinen Siliciums erfolgt, indem die Dotierverbindung als Prozeßgas bei der chemischen Gasphasenabscheidung zugesetzt wird,

5 **dadurch gekennzeichnet,**  
daß nach dem Erreichen der gewünschten Dotierung und der gewünschten Abscheidedauer die Zufuhr der Dotierverbindung zum Prozeßgas beendet wird, so daß eine Schicht aus undotiertem Silicium als Grenzschicht der dotierten Polysiliciumschicht abgeschieden wird.

10 2. Verfahren gemäß Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß als Dotierverbindung eine gasförmige oder leichtflüchtige Verbindung des Bors, Galliums, Indiums, Phosphors, Arsens oder Antimons verwendet wird.

15 3. Verfahren gemäß Anspruch 2,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß als Dotierverbindung Diboran ( $B_2H_6$ ), Trimethylbor ( $B(CH_3)_3$ ), Phosphan ( $PH_3$ ) oder Arsan ( $AsH_3$ ) verwendet wird.

20 4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Konzentration der Dotierverbindung, bezogen auf die Gesamtkonzentration der abzuscheidenden Verbindungen, im Verlauf der Gasphasenabscheidung gesteigert wird.

25 5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Konzentration der Dotierverbindung, bezogen auf die Gesamtkonzentration der abzuscheidenden Verbindungen, im Verlauf der Gasphasenabscheidung verringert wird.

30 6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Konzentration der Dotierverbindung, bezogen auf die Gesamtkonzentration der abzuscheidenden Verbindungen, im Verlauf der Gasphasenabscheidung konstant gehalten und die Gesamtkonzentration der abzuscheidenden Verbindungen im Verlauf der Abscheidung gesteigert wird.

35 7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die dotierte Polysiliciumschicht auf eine Gateoxidschicht abgeschieden wird.

40 8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 bis 7,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß zunächst reines Silicium abgeschieden und anschließend mit der Zufuhr der Dotierverbindung begonnen wird.

45 9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß auf die auf der dotierten Polysiliciumschicht abgeschiedene Silicium-Grenzschicht eine weitere Schicht aus Metall oder Metallsilicid abgeschieden wird.

50 10. Verfahren gemäß Anspruch 9,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß als Metallsilicid ein Silicid des Cobalts, Titans, Tantal, Molybdäns oder Wolframs abgeschieden wird.

55 11. Verfahren gemäß Anspruch 9 oder 10,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Abscheidung der Metall- oder Metallsilicidschicht in einer anderen Kammer der Vorrichtung zur chemischen Gasphasenabscheidung erfolgt, die zur Herstellung der dotierten Polysiliciumschicht verwendet wird.

12. Verfahren gemäß Anspruch 10 oder 11,

**dadurch gekennzeichnet,**  
daß auf Metall- oder Metallsilicidschicht eine Isolationsschicht, insbesondere eine Isolationsschicht aus Siliciumdioxid aufgebracht wird.

- 5 13. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß einer oder mehrere der Verfahrensschritte unter Vakuum oder Hochvakuum durchgeführt werden.
14. Verfahren gemäß Anspruch 13,  
10 **dadurch gekennzeichnet,**  
daß das Vakuum zwischen der Abscheidung der dotierten Polysiliciumschicht und der Abscheidung der Metall- oder Metallsilicidschicht nicht aufgehoben wird.
15. Verfahren zum Strukturieren einer Schichtstruktur, welche wenigstens eine Metall- oder Metallsilicidschicht auf  
15 einer Schicht aus polykristallinem Silicium umfaßt,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß es ein wenigstens dreistufiges Ätzverfahren umfaßt, bei welchem in einer ersten Stufe mit einem fluorhaltigen Gas, in einer zweiten Stufe mit einem chlorhaltigen Gas und in einer dritten Stufe mit einem bromhaltigen Gas geätzt wird.
- 20 16. Verfahren gemäß Anspruch 15,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß auf der Metall- oder Metallsilicidschicht vor dem Strukturieren eine Hartmaske und insbesondere eine Maske aus Siliciumdioxid oder Siliciumnitrid aufgebracht wird.
- 25 17. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 oder 16,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß sämtliche Stufen des Ätzverfahrens in derselben Vorrichtung durchgeführt werden.
- 30 18. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 17,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß das fluorhaltige Gas  $\text{NF}_3$ ,  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{SF}_6$ , einen oder mehrere fluorierte Kohlenwasserstoffe oder Mischungen derselben umfaßt.
- 35 19. Verfahren gemäß Anspruch 18,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß das fluorhaltige Gas aus  $\text{NF}_3$  oder  $\text{SF}_6$  und  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{He}$  und  $\text{O}_2$  besteht.
- 40 20. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 19,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß das chlorhaltige Gas  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{BCl}_3$  oder Mischungen derselben umfaßt.
21. Verfahren gemäß Anspruch 20,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
45 da das chlorhaltige Gas aus  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{He}$  und  $\text{O}_2$  besteht.
22. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 21,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß das bromhaltige Gas  $\text{HBr}$  umfaßt und insbesondere aus  $\text{HBr}$ ,  $\text{He}$  und  $\text{O}_2$  besteht.
- 50 23. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 22,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß das Metallsilicid ein Silicid des Cobalts, Titans, Tantals, Molybdäns oder Wolframs ist.
- 55 24. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 23,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Schicht aus polykristallinem Silicium eine dotierte oder undotierte Polysiliciumschicht ist und insbesondere eine nach dem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 hergestellte dotierte Polysiliciumschicht.

25. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 24,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Schichtstruktur eine gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14 hergestellte Schichtstruktur ist.

5

26. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 25,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Schichtstruktur die Schichten Gateoxid, Polysilicium, Metallsilicid und Isolationsschicht umfaßt.

10

27. Verfahren gemäß Anspruch 6,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Isolationsschicht als Maske zum Ätzen der darunterliegenden Schichten dient.

15

28. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 27,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die zu strukturierende Schichtstruktur in einem Wafer umfaßt ist, welcher während des Ätzvorgangs elektrostatisch gehalten wird.

20

29. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 28,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß sich an den Ätzvorgang ein naßchemischer Reinigungsschritt anschließt.

25

30. Verfahren gemäß Anspruch 29,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der naßchemische Reinigungsschritt im Eintauchen in verdünnte Flußsäure besteht.

31. Wafer oder Halbleiterchip, hergestellt unter Verwendung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14 und/oder des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 15 bis 30.

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

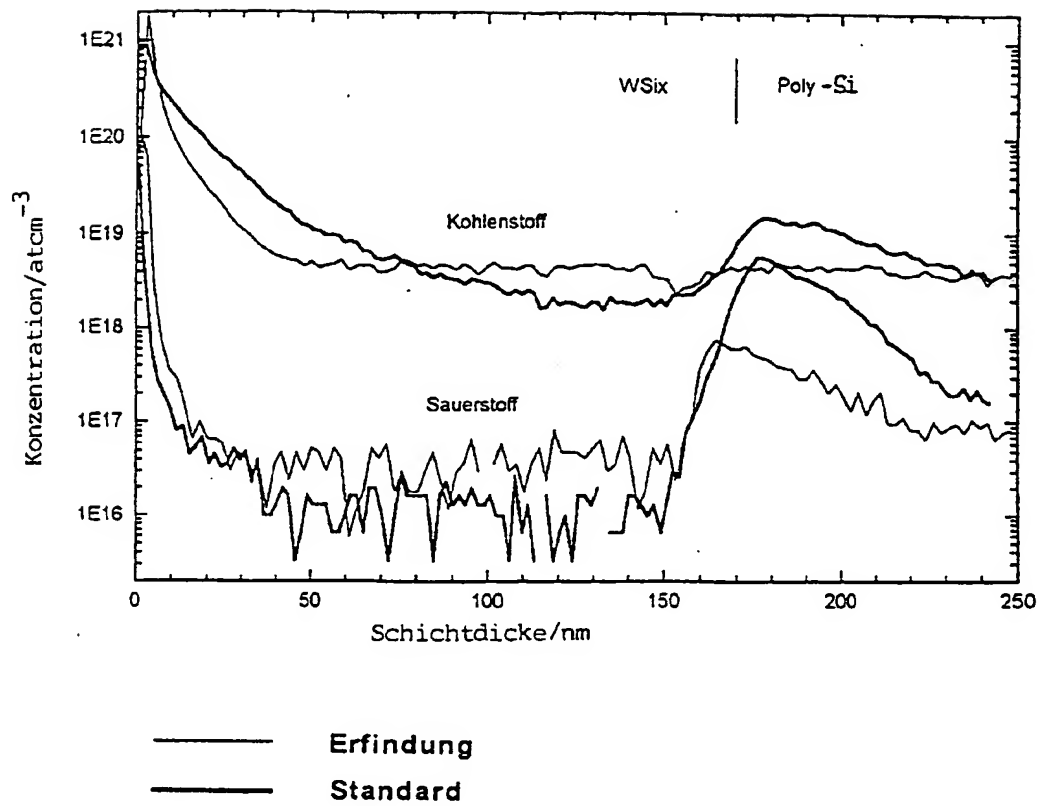


Fig. 2a

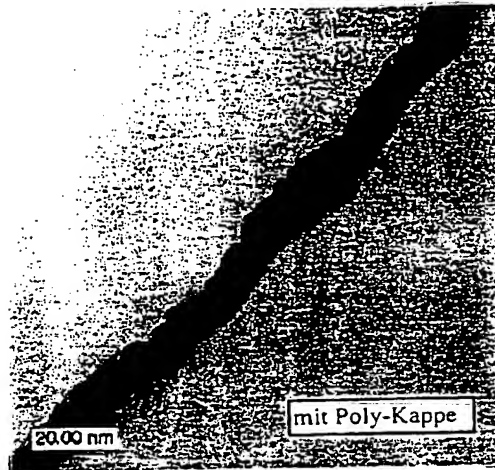


Fig. 2b

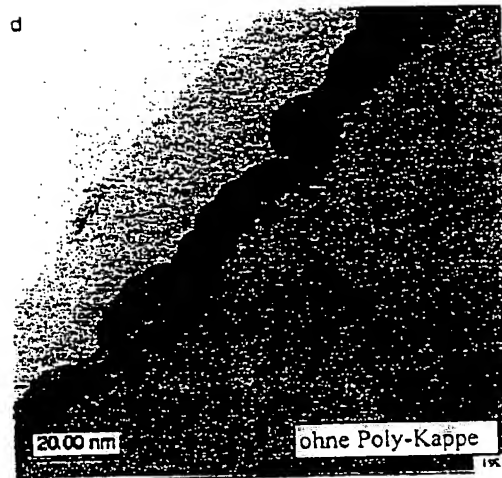




Fig. 3a

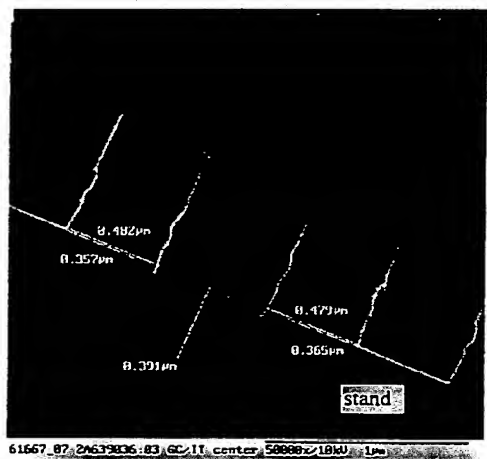


Fig. 3b

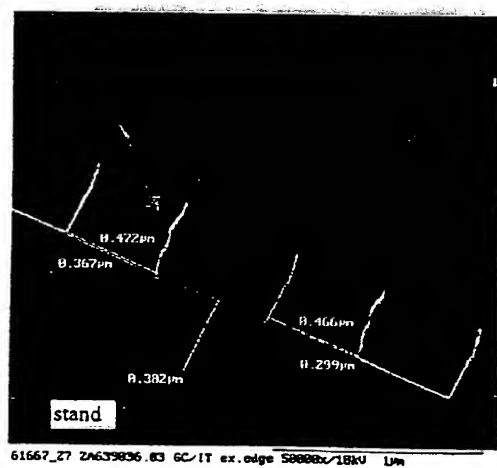
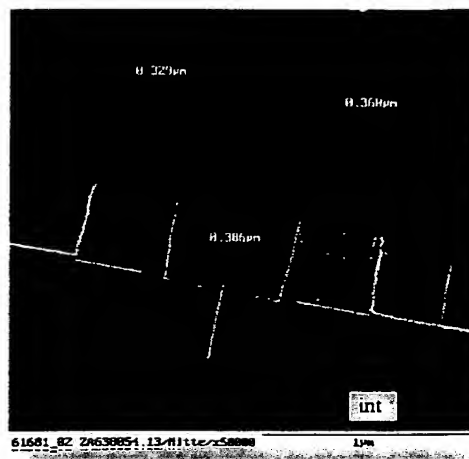


Fig. 3c

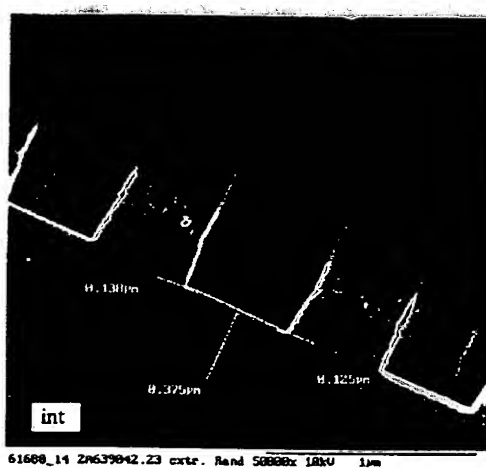


Fig. 3d

Fig. 4

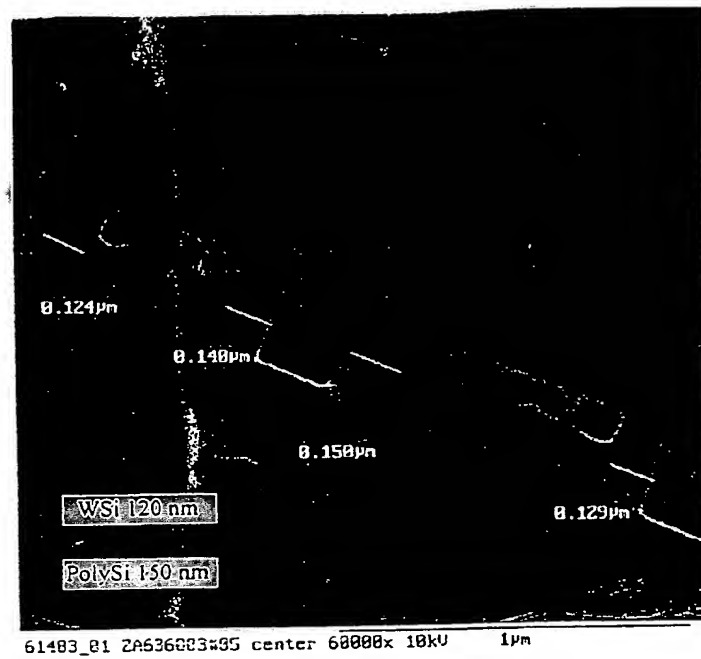
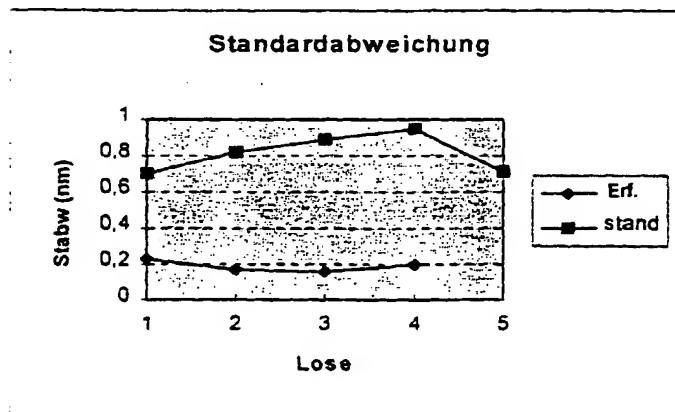
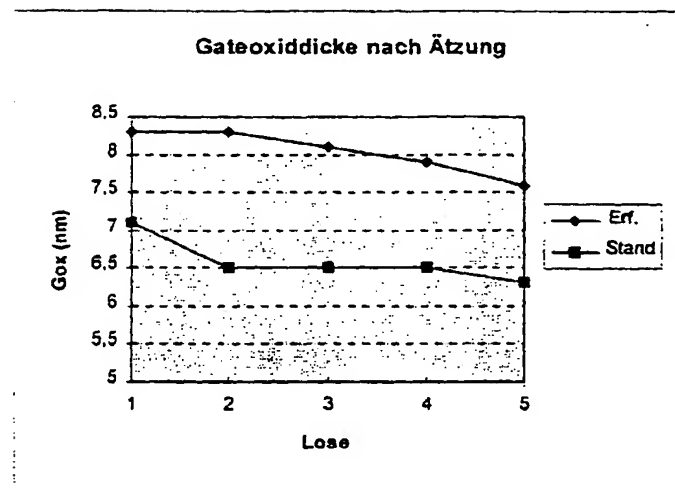
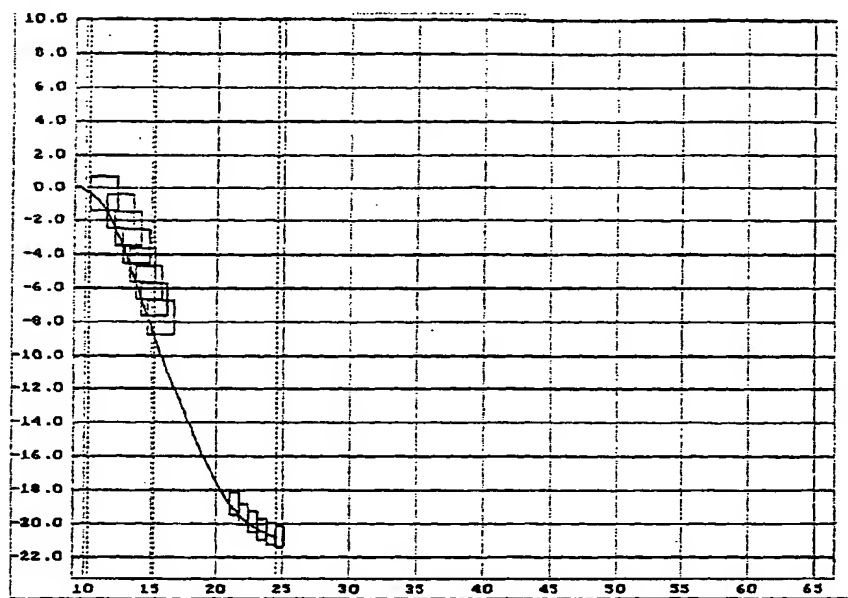


Fig. 5



Endpunktalgorithmus für Mainetch-Schritt

Fig. 6

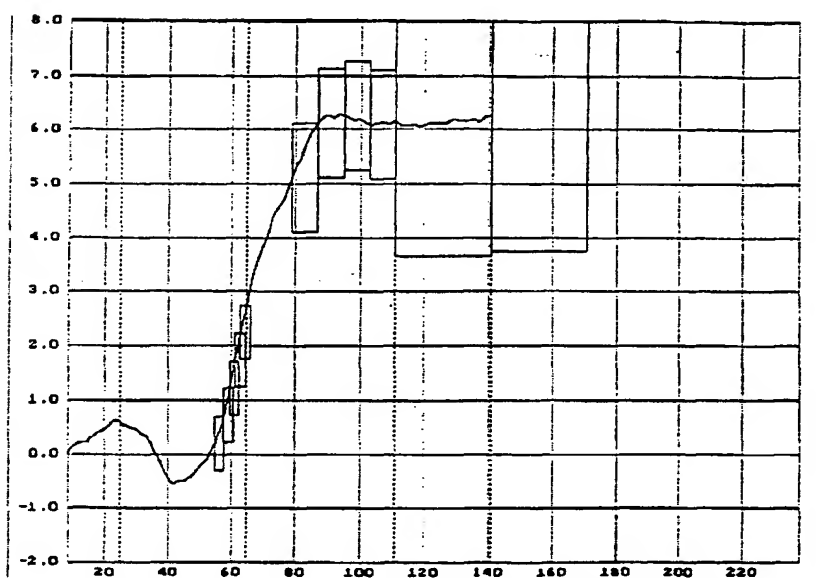


Zeit/s

Ätzmodus; Endpunkt - Tiefe	Endpunkt	Endpunkt	KEIN	KEIN
Wellenlänge / nm (2000 - 8000, 0 für KEIN)	4705			
Anfängliche Totzeit/s (0.0 - 999.9)	5.0			
Fensterhöhe (-99.99 - 99.99)	-1.00	-0.65	-0.10	-0.10
Fensterzeit/s (0.1 - 99.9)	2.0	0.7	10.0	10.0
Fensterzahl Aus (1 - 99, 0 für KEIN)	8	KEIN	KEIN	KEIN
Fensterzahl Ein (1 - 99, 0 für KEIN)	KEIN	5	KEIN	KEIN
Überätzung (0 % - 999 %)	0			

# Endpunktalgorithmus für Overetch-Schritt

Fig. 7



Zeit/s

Ätzmodus; Endpunkt - Tiefe	Endpunkt	Endpunkt	Endpunkt	KEIN
Wellenlänge / nm (2000 - 8000, 0 für KEIN)	4705			
Anfängliche Totzeit/s (0.0 - 999.9)	20.0			
Fensterhöhe (-99.99 - 99.99)	0.50	1.0	2.50	-0.10
Fensterzeit/s (0.1 - 99.9)	3.0	8.0	30.0	10.0
Fensterzahl Aus (1 - 99, 0 für KEIN)	5	KEIN	KEIN	KEIN
Fensterzahl Ein (1 - 99, 0 für KEIN)	KEIN	4	1	KEIN
Überätzung (0 % - 999 %)	0			

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**